

## OPTICAL WAVEGUIDE AND ITS MANUFACTURE

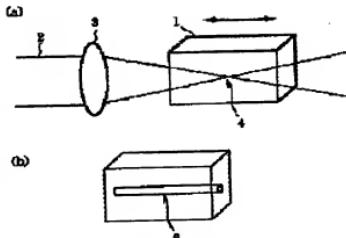
Patent number: JP9311237  
Publication date: 1997-12-02  
Inventor: MIURA SEIKI; KENESU DEIBISU; HIRAO KAZUYUKI  
Applicant: KAGAKU GIJUTSU SHINKO JIGYODAN; MIURA SEIKI  
Classification:  
- international: G02B6/13  
- european:  
Application number: JP19970007533 19970120  
Priority number(s):

Also published as:  
 EP0797112 (A)  
 US5978538 (A)  
 JP9311237 (A)  
 EP0797112 (B)  
 AU714199 (B2)

### Abstract of JP9311237

PROBLEM TO BE SOLVED: To form an optical waveguide in a glass material by irradiating this material with a laser having a high peak output value.

SOLUTION: A glass sample 1 is continuously condensed and irradiated with the pulse laser beam 2 having peak power intensity of  $>=10^{15}$  W/cm $^2$  and a repeating frequency of  $>=10$  kHz. This sample 1 is continuously moved along the optical axis direction of the pulse laser beam 2 or the sample 1 is continuously scanned with the focusing point 4 of the pulse laser beam 2 at the time of the irradiation with the laser. Various kinds of glass, etc., having high transparency are used for the sample 1. The condensing point 4 induces the light induced change in the refractive index and the locus of the focusing point 4 is written as an optical waveguide 5 into the sample 1.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19)日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-311237

(43)公開日 平成9年(1997)12月2日

(50)Int.Cl.  
G 02 B 6/13

識別記号 序内整理番号

F I  
G 02 B 6/12技術表示箇所  
M

審査請求 未請求 求査項の数 8 O L (全 5 項)

(21)出願番号 特願平9-7533  
 (22)出願日 平成9年(1997)1月20日  
 (31)優先権主張番号 特願平8-88920  
 (32)優先日 平8(1996)3月18日  
 (33)優先権主張国 日本 (JP)

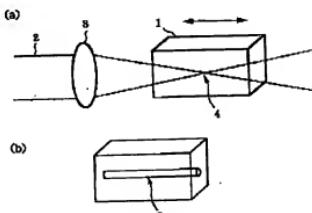
(71)出願人 396020800  
 科学技術振興事業団  
 埼玉県川口市本町4丁目1番8号  
 (71)出願人 596016476  
 三浦 清貴  
 奈良県奈良市朱雀1-13-22  
 (72)発明者 三浦 清貴  
 奈良県奈良市朱雀1-13-22  
 (72)発明者 ケネス デイビス  
 奈良県奈良市左京4-2-12  
 (72)発明者 平尾 一之  
 京都府相楽郡木津町木津川谷3-5-8  
 (74)代理人 弁理士 小倉 亘

## (54)【発明の名称】 光導波路及びその作製方法

## (57)【要約】

【目的】 ピーク出力値が高いレーザを照射することにより、ガラス材料の内部に光導波路を形成する。

【構成】 ピークパワー密度  $10^4 \text{ W/cm}^2$  以上、繰返し周波数 10 KHz 以上のパルスレーザ光2をガラス試料1に連続的に集光照射する。レーザ照射に際しては、パルスレーザ光2の光軸方向に沿って試料1を連続的に移動させ、或いは試料1に対してパルスレーザ光2の集光点4を連続的に走査させることが好ましい。試料1には透明度の高い種々のガラス等が使用され、集光点4が光誘起屈折率変化を起こし、集光点4の軌跡が光導波路5として試料1の内部に書き込まれる。



(2)

2

特開平9-311237

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザ光の集光照射により屈折率が変化した部分がガラス材料の内部に連続して形成されている光導波路。

【請求項2】 ガラス材料が酸化物ガラス、ハロゲン化物ガラス、硝化物ガラス又はカルコゲナイトガラスである請求項1記載の光導波路。

【請求項3】 光誘起屈折率変化を起こすエネルギー量をもつレーザ光をガラス材料の内部に集光し、ガラス材料の内部で集光点を相対移動させ、連続した屈折率変化領域をガラス材料の内部に形成する光導波路の作製方法。

【請求項4】 集光点におけるピークパワー強度が10<sup>1</sup> W/cm<sup>2</sup>以上のレーザ光を使用する請求項3記載の光導波路の作製方法。

【請求項5】 検査し回数10 KHz以上のバルスレーザ光を使用する請求項3又は4記載の光導波路の作製方法。

【請求項6】 ガラス材料として酸化物ガラス、ハロゲン化物ガラス、硝化物ガラス又はカルコゲナイトガラスを使用する請求項3～5の何れかに記載の光導波路の作製方法。

【請求項7】 レーザ光の集光点に對しガラス材料を連続的に移動させる請求項3～6の何れかに記載の光導波路の作製方法。

【請求項8】 ガラス材料の内部でレーザ光の集光点を連続的に移動させる請求項3～7の何れかに記載の光導波路の作製方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、レーザ照射によってガラス材料の内部に屈折率変化領域が連続して形成された光導波路及びその作製方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 光通信等において使用される光導波路は、イオン交換法、火炎加水分解法等でガラス等のガラス材料の内部に形成されている。イオン交換法では、金属のスリット伏開孔からガラス基板表面層にA<sup>+</sup>イオンを熱的に侵入させ、ガラス中のNa<sup>+</sup>イオンとA<sup>+</sup>イオンを交換する第1段のイオン交換により表面層に導波路を形成した後、ガラス基板に均一な境界を印加し溶融窓中のNa<sup>+</sup>イオンをガラス表面に侵入させる。N<sup>+</sup>イオンは、A<sup>+</sup>イオンが形成した表面層の高屈折率変化表面下に移動させる。その結果、導波路がガラス表面下に埋め込まれ、伝播損失特性が確保される。この方法で作成された光導波路のコアは、径10～200 μmの半円形又はほぼ円形の断面をもち、1%前後の比屈折率差をもつものが多い。

【0003】 火炎加水分解法では、四塩化シリコンと四塩化ゲルマニウムの火炎加水分解によりシリコン基板の

表面に下クラッド用及びコア用の二層のガラス微粒子層を堆積させ、高溫加熱により微粒子層を透明ガラス層に改質する。次いで、フォトリソ法及び反応性エッチャングにより回路パターンをもつコア部を形成する。この方法で作成された光導波路は、膜厚が数μmと薄い。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】 イオン交換法では、屈折率分布をイオン交換により調整しているため、形成された導波路構造がガラス表面に近い部分に限られる。導波路が作成可能なガラスも、イオン交換が可能な材料に限られる。また、イオン交換に長時間を要するところから、生産性も低い。他方、火炎加水分解法は、導波路の作成工程が複雑であり、使用可能な材料も石英を主成分とするガラス構成に限られる。更には、基板表面に堆積した微粒子をガラス層に改質するため、円形の断面をもつ光導波路の作成が困難である。

【0005】 更に、イオン交換法又は火炎加水分解法では、同一基板上に程々の二次元的パターンをもつ光導波路を形成できるものの、三次元的に組み合わされた光導波路を形成することは困難である。そのため、導波路回路等として使用されるときに制約を受け、複雑な回路構成をもつ用途に適用できない。本発明は、このような問題を解消すべく案出されたものであり、ガラス材料の内部に集光させたレーザ光の集光点を相対的に移動させるることにより、屈折率変化をもたらす構造変化をガラス材料の内部に起させ、光導波路を形成することを目的とする。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】 本発明の光導波路は、その目的を達成するため、レーザ光の集光照射により屈折率が変化した部分がガラス材料の内部に連続して形成されていることを特徴とする。ガラス材料には、ハロゲン化物ガラス、硝化物ガラス、カルコゲナイトガラス等が使用される。酸化物ガラスにはケイ酸塩系、硼酸塩系、焼成塩系、沸騰酸塩系、ビスマス系等があり、ハロゲン化物ガラスにはBaF<sub>2</sub>系、Sr<sub>2</sub>F<sub>3</sub>系、InF<sub>3</sub>系、Cd-Zn-C<sub>1</sub>系等があり、硫化物ガラスにはGa-La-S系等があり、カルコゲナイトガラスにはSe-A<sub>2</sub>S系等がある。

【0007】 この光導波路は、光誘起屈折率変化を起こすエネルギー量をもつレーザ光をガラス材料の内部に集光し、ガラス材料の内部で集光点を相対移動させ、連続した屈折率変化領域をガラス材料の内部に形成することにより製造される。レーザ光としては、ガラスの種類によても異なるが、光誘起屈折率変化を起こすためにには、集光点における10<sup>1</sup> W/cm<sup>2</sup>以上のピークパワー強度をもつことが好ましい。ピークパワー強度は、1バルス当たりの出力エネルギー(J) / バルス幅(秒)の比で表されるピーク出力(W)を照射単位面積当たりで表した値である。ピークパワー強度が10<sup>1</sup> W/cm<sup>2</sup>に

50

(3)

特開平9-311237

4

3

満たないと有効な光路起屈率変化が起こらず、光導波路が形成されない。ピークパワー密度が高いほど光路起屈率変化が促進され、光導波路が容易に形成される。しかし、過度に大きなエネルギー量のレーザ光を実用的を得ることは困難である。そこで、バルス幅を狭くすることによりピーク出力を高め、バルスレーザーの使用が好ましい。ガラス材料の内部に形成される導波路を滑らかな構造にするためには、バルスレーザーの絞りし周波数を10KHz以上に設定する。

【0008】レーザ光は、レンズ等の集光装置により集光される。このとき、ガラス材料の内部に位置するよう集光点を調整する。この集光点をガラス材料の内部で相対移動させることにより、光導波路として働く連続した屈折率変化領域がガラス材料の内部に形成される。具体的には、レーザ光の集光点に対しガラス材料を連続的に移動させ、或いはガラス材料の内部でレーザ光の集光点を連続的に移動させることにより、集光点を相対移動させる。

【0009】

【作用】バルスレーザーの照射によって屈折率が変化する現象は、光路起屈率変化と呼ばれており、P. C. G. e等を添記したシリカガラスの例が知られている。この現象は、紫外線に因る吸収をもつ複素欠陥がガラス中に存在しており、吸収波長のレーザ光を照射することによって複素欠陥の一部が構造変化することに起因すると考えられており、発振波長が紫外域にあるエキシマレーザでの研究が進められている。しかし、この方法で使用されるレーザ光は、10KHz未満の低い絞りし周波数をもち、照射部分に十分エネルギーを与えることができない。そのため、屈折率変化領域の形状がスポット化になり、連続的な屈折率変化を必要とする光導波路を形成するまでには至らない。また、平均出力が一定の状態で、強制的に絞りし周波数を大きくした場合、バルス当たりのエネルギーが低くなり、屈折率変化を誘起せざることと自体が困難になる。

【0010】これに対し、バルス幅を狭くすることで高いピーク出力が得られる、10KHz以上の絞りし周波数をもつバルスレーザーにおいても、ガラス構成に関係なく、レーザ光の集光点で屈折率が変化する現象を確認した。この条件下では、ガラスの偏光吸収波長以外の波長をもつバルスレーザーであっても、同時に集光点においてガラスの光路起屈率を変化させる現象が発生する。また、ガラスの因る吸収波長に一致する波長をもつバルスレーザーであっても、吸収が弱く、集光点における10<sup>-4</sup>W/nm<sup>2</sup>以上のピークパワー密度が確保されると光路起屈率変化が生じる。屈折率が変化する現象は、発生メカニズムが不明であるが、光導波路の作製に有効に利用される。また、絞りし周波数が速いことから、ガラス材料を連続的に走査することにより、集光部分の軌跡に連続的な屈折率変化領域を形成できる。この屈折率変化

領域は、当初のガラスの屈折率より高いことから光導波路として利用される。

【0011】滑らかな導波路構造を形成させる上では、バルス間隔を狭く、換言すれば絞りし周期を速くし、第1バルスと第2バルスが可能な限り同時に照射される必要がある。このことから、本発明ではバルスレーザーの絞りし周波数を10KHz、好ましくは100KHz以上に設定する。絞りし周波数が小さいとレーザ光が離散的に照射され、導波路の形成に必要な連続的な屈折率変化が得られない。なお、ガラス材料又はレーザ光の集光点の走査速度を速くすることにより、ガラス材料に対して連続的にレーザ光を照射できる。しかし、この場合は第1バルス照射後に一定の時間をおいて第2バルスが重なった状態で照射されるため、第1バルスで形成された屈折率変化が第2バルスにより再変化を起こし、十分な屈折率変化が得られない。上記は、絞りし周波数が無限大の限りなく連続レーザーに近いものである。しかし、絞りし周波数を大きくすると、一般に1バルス当たりのエネルギーが弱くなる。そのため、実際にはガラス材料が屈折率変化を起こす閾値と、使用するレーザーの出力によって絞りし周波数の上限が設定される。

【0012】

【実施例】

実施例1：

SiO<sub>2</sub> : 95重量%、GeO<sub>2</sub> : 5重量%の組成をもつ石英ガラスから、10mm×10mm×5mmの立方体形状の試料1を切り出した。この試料に、図1(a)に示すようにバルスレーザ光2をレンズ3で集光して照射した。バルスレーザ光2としては、アルゴンレーザ励起の1:1 A. O. レーザから発振されたバルス幅1.500ナノ秒、絞りし周波数200KHz、波長800nm、平均出力600mWのレーザを使用した。バルスレーザ光2をレンズ3で集光し、試料1の内部に集光点4が生じるようして照射せると、集光点4の屈折率が0.02上昇した。屈折率の変化は、ナノ秒又はピコ秒オーダーの短時間で生じた。そこで、ガラス又はガラス部分を連続的に移動し、図1(b)に示すように試料1の内部に直線状の屈折率が高い領域、すなわち光導波路5を形成した。

【0013】光導波路が形成されていることは、実際に可視光を試料1に入射し、屈折率変化を起こしている部分のみに光が伝達されていることを確認した。また、出射側の近視野像から光導波路の断面が直径2.0μmの円形であることが判った。実施例1においてはGeドープしたシリカガラスを使用した例を説明したが、高純度のシリカガラス、リン酸ガラス、ナウ酸塩ガラス、フッ化物ガラス、塩化物ガラス、硫化物ガラス等の他のガラスにおいても同様にレーザ照射によって光導波路が形成された。得られた光導波路は、コアとクラッドとの間に明確な界面が存在しないことから界面損失が極めて少な

50

く、光集積回路等における微細な導波路形成法としての適用が期待される。

【0014】実施例2：

ZrF<sub>4</sub> : 50モル%, LaF<sub>3</sub> : 5モル%, AlF<sub>3</sub> : 5モル%, BaF<sub>2</sub> : 20モル%, NaF : 20モル%の組成をもち、2.0mm×2.0mm×5mmの立方体形状をもつフッ化物ガラスを試料1として使用した。試料1の内部に焦点4を結ぶ(図2a)ように、パルス幅1.20μm・トト秒、繰返し周波数50KHz、波長1μm、平均出力150mWのパルスレーザ光2を集光鏡を照射した。集光鏡4を円弧状に移動させたところ、図2(b)に示すように周囲とは明確に異なるラインが集光点4の軌跡に沿って試料1の内部に形成されていることが光学顕微鏡による観察で確認された。形成されたライン、すなわち光導波路5は、直径12μmの円形断面をもっていた。

【0015】光導波路5の一端面からHe-Neレーザ光を入射したところ、光導波路5の他端面からレーザ光が反射されることを近視野像の光強度分布で確認し、レーザ照射によって形成されたラインが周囲に比較して屈折率が高く、光導波路5になっていたことが判った。また、光導波路5に繰返しレーザ光を集光鏡4射するとき、光導波路5の端面から出射される光強度も増加し、レーザ照射の繰返しにより屈折率変化も増大することが確認された。また、パルス幅及び繰返し周波数を一定に保ち、\*

(a)

特開平9-311237

6

\* レーザ光の波長を400nmから2μmまで変化させながらフッ化物ガラスに照射し、光導波路を形成した。この場合も、光出射端面の近視野像の光強度分布から、同様な光導波路がガラス内部に形成されていることが判った。

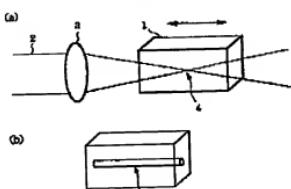
【0016】

【発明の効果】以上に説明したように、本発明においては、ビーム出力値が高いパルスレーザをガラス等のガラス材料に照射し、集光点の屈折率を変化させることにより、ガラス材料の内部に光導波路を書き込んでいる。この方法は、複雑な工程を経ることなく、しかも簡単に光導波路を形成できる利点をもっている。また、パルスレーザの光軸方向に対するガラス材料の走査方向、或いはガラス材料に対する集光点の移動方向を変えることで光導波路の形状も任意に制御でき、複雑な回路構造をもつ光集積回路等に適した三次元的な光導波路も容易に作製される。

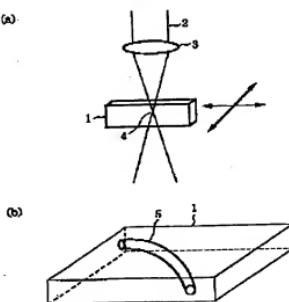
【図面の簡単な説明】

【図1】 石英ガラスにパルスレーザ光を照射し  
(a) ガラス内部に作成した光導波路 (b)  
【図2】 フッ化物ガラスにパルスレーザ光を照射し  
(a) ガラス内部に作成した光導波路 (b)  
1: ガラス試料 2: パルスレーザ光 3: 集光レンズ  
4: 集光鏡 5: 光導波路

【図1】



【図2】



特許平9-311237

(5)

【手続補正書】

【提出日】平成9年1月23日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0011

【補正方法】変更

【補正内容】

【0011】滑らかな導波路構造を形成させる上では、パルス回数を狭く、換言すれば繰返し周波を遅くし、第1パルスと第2パルスが可能な限り同時に照射される必要がある。このことから、本発明ではパルスレーザの繰返し周波数を10KHz、許ましくは100KHz以上に設定する。繰返し周波数が小さいとレーザ光が離散的に照射され、導波路の形成に必要な連続的な屈折率変化が得られない。なお、ガラス材料又はレーザ光の発光点の走査速度を遅くすることにより、ガラス材料に対して遮蔽的にレーザ光を照射できる。しかし、この場合は第

1パルス照射後に一定の時間をおいて第2パルスが重なった状態で照射されるため、第1パルスで形成された屈折率変化が第2パルスにより再変化を起こし、十分な屈折率変化が得られない。上限は、繰返し周波数が繰り返し周波数を大きくすると、一般に1パルス当たりのエネルギーが増くなる。そのため、実際にはガラス材料が屈折率変化を起こす瞬間と、使用的なレーザの出力によって繰返し周波数の上限が設定される。光導波路のコア径は、照射するパルスレーザのパワーと集光スポット径を変えることにより制御可能である。パルスレーザのパワー又は集光スポット径が大きくなるほど、コア径も大きくなる。また、パルスレーザの走査回数によってコア部分の屈折率の変化量を制御できることでき、走査回数を多くするほど、コア径一定のままで屈折率の変化量を大きくすることができる。